

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Рогова Александра Сергеевича «Разработка технологии изготовления сорбционного генератора технеция-99м на основе активационного  $^{99}\text{Mo}$ », представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.17.02 –

Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

В настоящее время в России и в мире более 80 % диагностических исследований в кардиологии, онкологии, неврологии и других областях медицины проводится с использованием радионуклида технеций-99м ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) – дочернего продукта  $\beta$ -распада молибдена-99 ( $^{99}\text{Mo}$ ). Для получения препаратов на основе  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  в медицинских учреждениях используются устройства, называемые генераторами технеция-99м, и чаще всего – генераторы сорбционного типа. Для их «зарядки», как правило, применяется  $^{99}\text{Mo}$  высокой удельной активности (более 1000 Ки/г), выделяемый из продуктов деления урана-235 (выход в реакции деления 6,1 %). В России выпуск генераторов по такой технологии осуществляется в ГНЦ РФ НИФХИ им. Л.Я. Карпова. Основной недостаток этой технологии, образование большого количества долгоживущих радионуклидов, и, соответственно, большого количества радиоактивных отходов, требующих последующей переработки и утилизации.

Альтернативная малоотходная технология изготовления генераторов технеция-99м, основанная на использовании активационного  $^{99}\text{Mo}$ , полученного путем облучения нейтронами обогащенного молибдена-98, разработана в г. Томске на базе реактора ИРТ ТПУ. Основные проблемы здесь связаны с относительно низкой удельной активностью нарабатываемого  $^{99}\text{Mo}$  (8-10 Ки/г), что требует внесения в колонку генератора большой массы облученного молибдена и приводит к увеличению размеров генераторной колонки. Вследствие этого увеличивается (расширяется по объему) профиль элюирования генератора и, соответственно, снижается объемная активность препарата.

В диссертационной работе Рогова А.С. проведены исследования и разработана технология, обеспечивающая возможность изготовления высокоактивных генераторов технеция-99м из активационного  $^{99}\text{Mo}$ , имеющих постоянно высокий выход  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  в элюат (85-90 %). Подобные задачи в России и за рубежом не

решались, что говорит об актуальности исследований. Их решение позволит вывести производство генераторов технеция-99м на более экологичный уровень. При этом существенно снизится и стоимость генераторов за счет отсутствия затрат, связанных с переработкой и захоронением отходов.

Основная сложность решаемой задачи связана с проблемами проведения устойчивой адсорбции молибдена на поверхности оксида алюминия после его нанесения на сорбент путем проведения «обратной» зарядки колонки снизу-вверх. С этой целью в работе были проведены исследования по изучению свойств сорбентов, прошедших различную предсорбционную подготовку путем их кислотной активации. Изучено влияние на величину адсорбции молибдена его концентрации и общего количества полимолибдатов в исходных растворах, используемых для зарядки генераторных колонок. Отработаны условия проведения технологической промывки колонок после их зарядки, предотвращающие попадание молибдена-99 в элюаты. Доказано, что общий уровень потерь молибдена на стадии проведения зарядки не превышает 0,1 % от его общей адсорбируемой массы. Определены показатели радиохимической чистоты (РХЧ) препаратов натрия пертехнетата,  $^{99m}\text{Tc}$ , получаемых в условиях проведения адсорбции различных масс молибдена. Доказано, что РХЧ препаратов соответствует норме и находится на уровне  $\geq 99$  %. Полученный элюат генераторов (раствор натрия пертехнетата,  $^{99m}\text{Tc}$ ) по всем показателям качества удовлетворяет нормативным требованиям в течение установленного срока годности. Технические испытания, проведенные на опытной партии изготовленных генераторов технеция-99м, показали эффективность разработанной технологии и пригодность для практического использования.

**Научная новизна** работы состоит в том, что в ней впервые исследованы закономерности распределения молибдена в колонке сорбционного генератора  $^{99m}\text{Tc}$  в зависимости от направления проведения ее «зарядки» раствором полимолибдата натрия (ПМН). Показано, что технология подачи раствора ПМН через колонку снизу-вверх способствует компактному и прочному распределению более 80 % адсорбированного молибдена на выходе из колонки, что позволяет сократить ее размеры и, соответственно, уменьшить габариты самого генератора.

Экспериментально показано, что для изготовления из активационного  $^{99}\text{Mo}$  генераторов с высшим в России номиналом активности 19 ГБк, могут быть использованы колонки с высотой слоя сорбента 45 мм и диаметром 13 мм. Автором впервые установлено, что величина элюационного выхода  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  из колонок, «заряженных» молибденом в направлении снизу-вверх, находится на уровне 85-90 % не зависимо от активности генератора. При этом требуемый объем элюента 7 мл близко соответствует объему изотонического раствора натрия хлорида (5 мл), используемого для выделения  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  из генераторов, изготовленных по «осколочной» технологии. Приоритетное значение полученных результатов подтверждается выдачей патента РФ на изобретение.

**Практическое значение** работы состоит в том, что предложенные в ней технологические приемы изготовления сорбционных генераторов из активационного сырья, могут быть применены для создания подобных производств на других среднеточных исследовательских ядерных реакторах, достаточно широко распространенных в мире. Результаты исследований используются в учебно-педагогическом процессе Томского политехнического университета в рамках магистерской программы «Медицинская физика».

**Обоснованность и достоверность** выдвигаемых на защиту полученных научных результатов подтверждается современным уровнем применяемых в работе физико-химических методов исследований, взаимодополняющих друг друга; использованием аттестованного и поверенного оборудования, обеспечивающего достоверность получаемой информации; сходимостью результатов лабораторных исследований с результатами, полученными при испытаниях опытных образцов; публикациями в рецензируемых журналах; обсуждением результатов на научных конференциях различного уровня.

Диссертация включает 4 главы и объем, достаточный для логичного изложения материала, хорошо иллюстрирована, выводы обоснованы и соответствуют полученным результатам. Содержит 157 машинописных страниц, 46 рисунков, 23 таблицы, 156 библиографических ссылок и приложение.

По теме диссертационной работы опубликовано 28 работ, из них 17 статей в ведущих рецензируемых Российских и зарубежных изданиях, 4 патента РФ и 7 тезисов докладов и выступлений на конференциях и семинарах различного уровня, в том числе международных. Имеется Акт о внедрении. Все это свидетельствует о достаточно высоком уровне апробации диссертационного материала.

В автореферате диссертации изложены основные положения и выводы, подробно отражен вклад автора в проведенные исследования, отмечена новизна и практическая значимость полученных результатов, представлено их обсуждение. Это позволяет сделать вывод о соответствии автореферата содержанию диссертационной работы. Содержание диссертации и автореферата соответствует специальности 05.17.02 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

По диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Литературный обзор несколько перегружен обширным представлением различных генераторных технологий получения технеция-99м с приведением схем установок. Для доказательства необходимости и возможности использования в генераторах хроматографического типа активационного  $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$ , вполне достаточно было рассмотрения существующих сорбционных методов получения технеция-99м и конструкций сорбционных генераторов.

2. В работе говорится о снижении элюационного выхода технеция-99м и ухудшении показателей качества препаратов, выделяемых из одноигольчатых генераторов, за счет возможности образования в их «мокрых» колонках продуктов радиолитического распада. Следовало бы обсудить возможность такого эффекта в разработанной конструкции генератора при нарушении режима элюирования медицинским персоналом?

3. В конструкции, разработанного диссертантом нового отечественного генератора технеция-99м для достижения стерильности используется комбинированный фильтр, заключенный в шприцевую насадку, предназначенный для поочередного порционного пропуска жидкости и воздуха. Необходимо предусмотреть контроль целостности данного фильтра.

4. В диссертации отсутствуют сведения о качестве радиофармацевтических препаратов (кроме натрия пертехнетата,  $^{99m}\text{Tc}$ ), приготовленных с использованием элюата генератора новой конструкции. Такие сведения – показатель РХЧ получаемых препаратов – могли бы убедительно продемонстрировать пригодность получаемых элюатов для приготовления различных препаратов технеция-99м.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости работы. Работа представляет собой завершённое исследование. Полученные в ней результаты могут быть использованы для внедрения в практику изготовления генераторов технеция-99м на основе активационного  $^{99}\text{Mo}$ .

Полагаю, что диссертационная работа Рогова А.С. «Разработка технологии изготовления сорбционного генератора технеция-99м на основе активационного  $^{99}\text{Mo}$ » удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.17.02 - Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Официальный оппонент,  
заведующая кафедрой радиохимии  
и технологии радиофармацевтических препаратов  
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна  
ФМБА России, к.х.н.,  
ст. науч. сотр.

Кодина Галина Евгеньевна

«18» декабря 2017 г.

123182, Москва, ул. Живописная, д.46. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна  
ФМБА России, Тел.: +7 (499) 190 95 00, E-mail: [gkodina@yandex.ru](mailto:gkodina@yandex.ru)

Подпись Кодиной Г.Е. удостоверяю  
ученый секретарь ФГБУ ГНЦ ФМБЦ  
им. А.И. Бурназяна  
ФМБА России, к.м.н.



Голобородько Евгений Владимирович

«19» декабря 2017 г.